

Recebido em 15 de Setembro de 1979

As Relações Energéticas dos Ecossistemas Agrícolas e Florestais (*)

por

J. SANTOS PEREIRA

(Prof. Aux. do Instituto Superior de Agronomia)

A. M. FÁBIO

(Assistente do Instituto Superior de Agronomia)

RESUMO

A importância dos subsídios energéticos na agricultura e silvicultura é analisada dum ponto de vista global. A produtividade das culturas não depende apenas da eficiência fotossintética das plantas isoladas, mas pode ser aumentada mediante técnicas agronómicas que visem, entre outras coisas, uma boa ocupação do terreno durante o período vegetativo, uso de variedades localmente adaptadas e eficiente uso dos fertilizantes, em particular dos azotados. Muito embora a intensificação cultural dependa de investimentos científicos e técnicos que se traduzem, em geral, em níveis elevados de consumo de energia comercial subsidiária, a produtividade desta energia (quantidade de produto por MJ consumido) tem decrescido com a industrialização da agricultura. Esta produtividade energética é maior na agricultura pouco industrializada e na silvicultura do que em agricultura sofisticada. A eficiência do uso da energia subsidiária na produção de proteína animal é em geral inferior à da proteína vegetal. A aquicultura pode,

(*) Agradecemos as valiosas críticas e sugestões dos colegas, Dr. Luís Barreto, Eng.º Agr. Borges Pires, Dr. Cândido Pinto Ricardo e Eng.º Agr. Carlos Silva. Ao Sr. José da Silva Rodrigues agradecemos a colaboração na execução das figuras, e à Sra. D. Isabel M. Leitão a dactilografia das várias versões do manuscrito.

em certos casos, melhorar a eficiência energética da agricultura, facilitando a reciclagem de nutrientes e a produção económica em águas mantidas para rega. A biomassa florestal, especialmente os resíduos de exploração e das indústrias florestais, poderia ser convertida em combustíveis de teor energético superior ao do material original e contribuir positivamente para o balanço energético do nosso país. A cultura de eucaliptos como fornecedora de combustível em Portugal não parece, na situação actual, uma opção vantajosa, uma vez que, para além da espécie permitir utilizações financeiramente mais compensadoras, poderia competir com a produção de alimentos e outras matérias primas. Por outro lado, a produção de metano a partir dos resíduos das explorações agrícolas parece aconselhável já que não iria interferir negativamente com a necessidade de reciclagem dos minerais.

SYNOPSIS

This review deals with the importance of subsidiary energy in agriculture and forestry. Crop production is not strictly dependent on biochemical pathways for CO₂ fixation, but it can be increased through the use of technical improvements that lead, among other things, to a good site occupation at all times during the growing season, the use of locally adapted crop varieties and efficient use of fertilizers. Agricultural improvement has been dependent upon technical and scientific investments, which usually correspond to high levels of energy subsidies. The productivity of these energy subsidies (quantity of product per MJ used) has decreased with industrialization of agriculture, even though land and labour productivities have increased. Energy productivity is higher in unsophisticated agriculture and in forestry than in heavily industrialized agriculture. Animal products are usually less efficient in using subsidiary energy than plant products. In some cases, aquaculture may contribute to improve energy efficiency of farms as a way of recycling nutrients and utilizing water kept for irrigation as a source of economic production. Forest biomass other than merchantable wood and residues from forest industries may be converted to fuel and contribute positively to the energy balance of the country. Even though eucalypts are grown extensively in Portugal, their future as a fuel producing crop is not considered very promising since it would take a very large share of portuguese agricultural land and alternative uses for wood are more profitable. On the other hand, methane production at farm level seems advisable since it would not interfere negatively with the need of recycling minerals.

INTRODUÇÃO

Toda a vida na biosfera resulta da capacidade dos seres autótrofos, isto é, fotossintéticos, para fixarem uma parte da energia da radiação solar incidente na superfície da Terra em compostos químicos utilizáveis pelos seres heterotróficos — animais, fungos,

bactérias não autotróficas — e pelos próprios autotróficos, no seu crescimento, reprodução e manutenção. A intervenção do Homem nos ecossistemas agrícolas e florestais tem sido orientada no sentido de controlar e aumentar a proporção da energia fixada na matéria orgânica que pode ser considerada disponível para a satisfação das necessidades da humanidade em alimentos e matérias-primas.

Nas sociedades industrializadas modernas, estas acções dependem de investimentos técnico-científicos e energéticos (com base nos combustíveis fósseis) com o que se consegue suplantar, em parte, diferenças no potencial produtivo do meio. Por essa razão a produtividade da terra é mais elevada nas regiões onde o desenvolvimento técnico-económico atingiu nível mais elevado. Em termos gerais, bastará referir como exemplo que a Europa (incluindo a parte asiática da U. R. S. S.), a América do Norte, a Austrália e a Nova Zelândia, detendo apenas 44,4 % da superfície mundial de terras agrícolas, 46 % da superfície mundial de pastagens e cerca de 30 % da população do Globo, são responsáveis por 57,3 % da produção mundial de alimentos, incluindo 69 % da produção mundial de carne (Kovalevski & Puliárkin, 1976). Nestes países, os subsídios energéticos à produção agrícola atingiram em 1972 o valor médio de $62,5 \times 10^3$ MJ por trabalhador agrícola (F. A. O., 1977). Os restantes países, economicamente mais atrasados, embora concentrando a maior parte da população, obtêm produções unitárias muito mais baixas, mas gastam na agricultura apenas cerca de 2,0 MJ por trabalhador agrícola.

O aumento da área cultivada, quer em consequência do desbravamento de novas terras, quer pela diminuição na duração dos pousios, e a intensificação cultural, têm sido os meios utilizados para incrementar a produção agrícola. Porém, o aumento da área cultivada não só tem limites óbvios, como está ligado, na maioria dos casos, a investimentos avultados, bem como a riscos elevados. Por exemplo, a expansão da cultura cerealífera nas regiões semi-áridas da Tunísia, assim como a da pastorícia no Sahel, para zonas virgens ou anteriormente utilizadas com menor intensidade, conduziram à desertificação acelerada (Floret & Hadjei, 1977; Glantz, 1977). Admite-se que as «campanhas do trigo» em Portugal tenham desencadeado processos semelhantes. A intensificação cultural, por seu lado, conduz ao aumento da produtividade da terra e da produtividade do trabalho, e implica o aumento no uso de adubos químicos, pesticidas, maquinaria, combustíveis, etc. Quando estes factores de produção

são contabilizados em termos da quantidade de energia para os produzir e utilizar, constituem subsídios de energia fornecidos às culturas.

Nas sociedades actuais, os subsídios de energia dependem quase totalmente do uso de combustíveis fósseis cujos preços crescentes no mercado internacional se refletem na formação dos preços dos produtos agrícolas (Slessor, 1975). Este aspecto é porventura mais importante do que o peso do consumo de combustíveis exclusivamente nas explorações agrícolas, o qual foi, em média, de 3,4 % do consumo nacional de energia nos países economicamente desenvolvidos e de 4 % do consumo nacional nos países sub-desenvolvidos (F. A. O., 1977). A perspectiva não se altera substancialmente quando consideramos o sector florestal, no qual apesar dos aumentos substanciais em subsídios de energia ocorridos nos últimos anos não se gasta senão uma percentagem diminuta dos consumos energéticos nacionais.

Dada a importância dos subsídios energéticos na intensificação cultural, parece mais importante procurar aumentar a eficiência da sua utilização do que reduzi-los drasticamente. Aliás, em muitas situações, uma tal redução poderia comprometer seriamente os níveis de produtividade da terra e do trabalho, com reflexos negativos na produção agrícola e no bem estar dos que trabalham a terra. Por outro lado, note-se que o incremento das produções agrícolas e florestais não depende apenas do aumento do consumo de energia subsidiária, como alguns textos podem fazer crer (por exemplo, Odum, 1971), mas também do modo como essa energia é utilizada. Além disso é possível encarar os sectores agrícola e florestal como produtores potenciais, e não apenas consumidores de combustíveis (Cornforth, 1975; Pollard, 1976; Boardman, 1978; Hall, 1978). Por outro lado muitas actividades agrícolas são compatíveis com a utilização de fontes intermitentes de energia, como o aproveitamento directo da energia solar (Katzman & Matlin, 1978).

Nas linhas que se seguem procuraremos esquematizar a forma como a energia flui nos ecossistemas modificados pelo homem com o fim de produzir alimentos ou matérias primas para a indústria. Não se trata duma análise exaustiva deste tema mas admitimos que dela se possam tirar ilações que sirvam de base a uma melhoria do balanço energético dos sectores agrícola e florestal da economia portuguesa. A falta de estudos mais pormenorizados e de natureza interdisciplinar é uma lacuna que urge preencher.

O FLUXO DE ENERGIA NOS ECOSISTEMAS

A energia solar atravessa as camadas exteriores da atmosfera a uma taxa média de 2 calorias por centímetro quadrado e por minuto. Mais de 99 % desta energia provém de radiação electromagnética com uma distribuição espectral entre os 200 e os 4000 nm de comprimento de onda, sendo cerca de metade na região visível do espectro (380 a 720 nm), aproximadamente coincidente com os comprimentos de onda da radiação fotossinteticamente activa.

Uma parte desta energia é reflectida, dispersa ou absorvida por moléculas gasosas, núvens e poeiras da atmosfera e a energia absorvida é, em parte, reirradiada para o espaço. Deste modo, no hemisfério Norte, em média apenas cerca de 47 % da radiação incidente no topo da atmosfera chega à biosfera (Larcher, 1977). Contudo, o fluxo de radiação que atinge a superfície terrestre varia durante o dia e ao longo do ano, acusando ainda diferenças regionais e locais importantes em função da latitude, altitude, topografia e nebulosidade. Por exemplo, nas zonas áridas dos trópicos pode chegar ao solo 70 % da radiação incidente no topo da atmosfera, em lugar dos 47 % referidos (Larcher, 1977).

Da energia efectivamente absorvida pela biosfera (incidente menos reflectida) apenas uma fracção reduzida é fixada pelos organismos fotossintéticos, gastando-se a restante no aquecimento do solo, dos seres vivos e do ar (eventualmente reirradiada) e na evapotranspiração. Nas regiões húmidas do Globo é neste último processo que é utilizada a maior parte da energia absorvida. Pode encontrar-se um tratamento mais pormenorizado do tema «balanço energético da terra» em Barreto (1977) e em Odum & Odum (1976), entre outros.

A energia armazenada nos alimentos passa das plantas (produtores primários) aos organismos heterotróficos (consumidores e decompositores). A esta estrutura de transferência de energia chama-se cadeia trófica e, a cada elo da sequência, nível trófico. A energia é captada pelos produtores primários e acumulada por estes nas ligações químicas das substâncias orgânicas que elaboram, fluindo ao longo da cadeia trófica à medida que os organismos de cada nível servem de alimento aos do nível seguinte.

Este fluxo de energia dos ecossistemas tem características em comum com todos os outros processos de transferência de energia,

nomeadamente no que se refere às duas leis fundamentais da termodinâmica:

1. A energia pode transformar-se dumas formas noutras, mas não se cria ou destrói;
2. Em todas as transformações de energia há sempre uma fracção que se dissipa sob a forma de energia térmica.

Esta segunda lei explica a diminuição da energia utilizável quando se passa dum nível trófico para o seguinte. Por consequência, o número máximo de níveis que é possível encontrar numa cadeia é limitado e a quantidade de energia armazenada em cada nível trófico é várias vezes superior à energia armazenada nos organismos de qualquer dos níveis tróficos seguintes. Por exemplo, a quantidade de energia contida na massa de plantas necessária para manter os herbívoros que servem de alimento a um só carnívoro, é incomparavelmente maior do que a que se encontra retida no corpo deste.

O fluxo de energia que se estabelece nos ecossistemas permite a actividade dos seres heterotróficos, o que se salda na decomposição da matéria orgânica acumulada pelos autotróficos. Esta decomposição é consequência da actividade metabólica e repõe em circulação no ecossistema os elementos químicos biogénicos. Assim a energia sofre uma transformação unidireccional ao fluir ao longo da cadeia trófica, acabando por se dissipar sob a forma de energia térmica. Paralelamente, a entropia aumenta e desorganiza-se a matéria orgânica com libertação no meio dos seus elementos químicos constituintes, que podem ser reabsorvidos pelas plantas e reciclados.

PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA

A produção primária é a consequência imediata da fotossíntese, processo em que a energia da radiação solar é absorvida pelas plantas verdes e transformada em energia das ligações químicas dos compostos orgânicos, cuja síntese acarreta a fixação do anidrido carbónico do ar. A fixação de cada átomo-grama de carbono armazena 112 quilocalorias (Kcal) ou 0,47 megajoules (MJ) (Larcher, 1977). A toda a energia fixada sob a forma de matéria orgânica chama-se produção primária bruta, sendo uma parte utilizada na respiração dos próprios

autotróficos, isto é, na manutenção quer dos órgãos fotossintéticos, quer dos que não fotossintetizam. A produção primária bruta subtraída da energia gasta na respiração das plantas chama-se produção primária líquida.

Quando a produção é referida à unidade de área e à unidade de tempo chama-se produtividade. A produtividade primária líquida (PPL) corresponde assim à velocidade de acumulação de matéria seca (ex.: $\text{g. m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$) ou de energia (ex.: $\text{MJ. m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$), pelos autotróficos.

A PPL anual depende da taxa líquida de assimilação (TLA, fotossíntese bruta ou total menos respiração, por unidade de tempo e de área foliar), da área da superfície fotossintética por unidade de área de terreno (índice de área foliar, IAF) e da duração do período vegetativo (t), grosseiramente, de acordo com a expressão:

$$\text{PPL} = \text{TLA} \cdot \text{IAF} \cdot t$$

A fotossíntese

A fotossíntese envolve processos fotoquímicos que dependem da absorção da radiação electromagnética, processos enzimáticos, independentes da luz, e processos de difusão, relativos às trocas gasosas entre o interior da folha e o ar (Fig. 1).

As reacções que, a partir da energia electromagnética, originam potencial de redução (em termos bioquímicos, a forma reduzida da nicotinamida adenina dinucleotido fosfato, NADPH) e potencial energético (adenosina trifosfatada, ATP) que permitirão a redução do CO_2 e a fixação de energia nas ligações químicas dos compostos orgânicos, são praticamente iguais para os diversos tipos conhecidos de plantas e libertam O_2 a partir da hidrólise da água. Tendo em conta que são teoricamente necessários um mínimo de 8 fotões por molécula de CO_2 reduzida, a eficiência de conversão de energia é da ordem dos 34 % (Nobel, 1974). Note-se que se trata da eficiência de conversão da energia realmente utilizada na excitação dos pigmentos fotossintéticos.

Quanto aos processos enzimáticos envolvidos na fixação do CO_2 , existem algumas diferenças entre as espécies vegetais. Algumas espécies possuem no interior da folha um sistema enzimático de pré-fixação

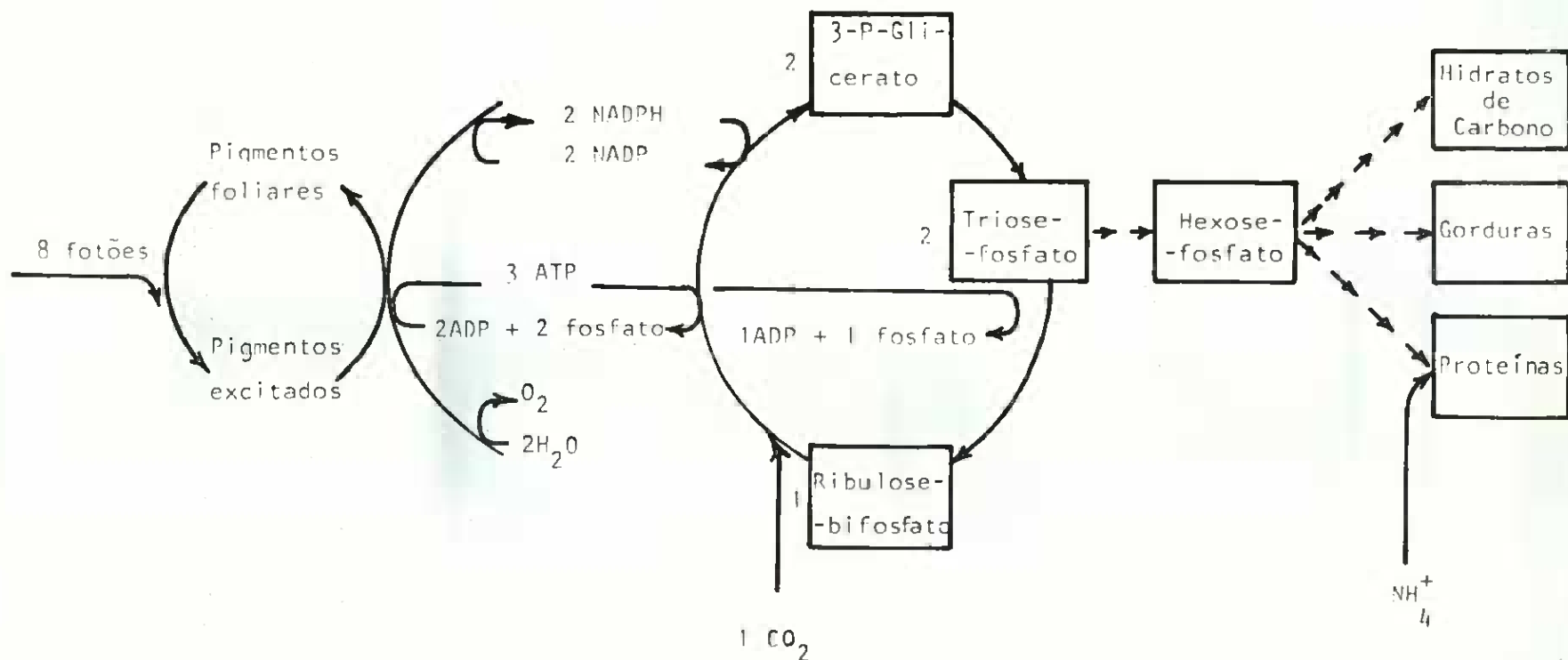


Fig. 1 — Esquema dos vários processos (fotoquímicos, transporte de electrões e bioquímicos) que ocorrem na produção fotossintética

Fig. 1 — Scheme of the processes (photochemical, electron transfer, and biochemical) that occur in photosynthetic production

do CO_2 em ácidos orgânicos com 4 átomos de C; são denominadas plantas C_4 por oposição às plantas C_3 em que o primeiro produto da fixação do CO_2 tem 3 átomos de C (ver Fig. 1). Nas plantas C_4 , o CO_2 é fixado ulteriormente por um sistema bioquímico equivalente ao usual das plantas C_3 , que não possuem qualquer processo de pré-fixação. Em condições de luminosidade e temperatura elevadas as plantas C_4 conseguem maior eficiência devido, em parte, à ausência da foto-respiração, presente nas C_3 . Neste processo, uma parte do C fixado fotossinteticamente é imediatamente gasto sem ser tão pouco utilizado na respiração de manutenção. Há ainda plantas, como os cactos e outras suculentas, possuidoras doutro tipo de metabolismo chamado CAM (de «Crassulacean Acid Metabolism»). Estas plantas assemelham-se às C_4 nalguns aspectos pois podem pré-fixar o CO_2 em ácidos orgânicos, embora durante a noite, efectuando a fotossíntese propriamente dita durante o dia. A vantagem deste mecanismo, que é regulado consoante as condições ambientais, é uma extrema economia de água. As produtividades são, porém, baixíssimas, na maioria dos casos.

A maioria das espécies vegetais tem um metabolismo do tipo C_3 , enquanto as plantas C_4 representam uma minoria de espécies (como o milho, o sorgo, a cana de açúcar) que evoluíram em épocas relativamente recentes em regiões quentes, luminosas e com certa aridez. As plantas CAM restringem-se em grande parte às condições desérticas ou são epífitas, sendo quase nula a sua importância como plantas agrícolas ou florestais (excepções são o sisal e o ananaz).

Tem sido muito comum na bibliografia dum passado recente citar as plantas C_4 como plantas «superiores» em oposição às plantas C_3 (como o trigo, o centeio, o trevo, a luzerna, as árvores de fruto e florestais, etc.). Na realidade a taxa máxima de crescimento, de acordo com Monteith (1978), situa-se para plantas C_3 entre 34 e 39 $\text{g. m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ e, para plantas C_4 , entre 50 e 54 $\text{g. m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ (sendo as médias para toda a estação de crescimento de 13 $\text{g. m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ e 22 $\text{g. m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, respectivamente). Contudo, nem sempre as condições óptimas em que se verificaram as taxas máximas de crescimento das plantas C_4 são muito comuns ao longo do período vegetativo.

Adaptações fisiológicas que conduzem a uma eficiência elevada nas condições de «stress» inerentes ao habitat nativo de uma espécie levam com frequência a fraco poder competitivo noutras condições ambientais (Berry, 1975; Orians & Solbrig, 1977). Assim, em condições de sombra e a temperaturas pouco elevadas as plantas C_4

poderão estar em desvantagem face às C_3 . A taxa máxima de fotossíntese nas plantas C_4 verifica-se a temperaturas e a densidades de fluxo de radiação mais elevadas do que nas plantas C_3 . Por outro lado, a quantidade de carbono fixado por *quantum* de luz absorvida a densidades de fluxo de radiação abaixo do ponto de saturação para a luz e a temperaturas baixas ou moderadas, é maior nas plantas C_3 do que nas C_4 (Ehleringer, 1978). Uma das razões para isto é provavelmente o facto de a síntese e a manutenção dum aparelho fotossintético eficiente nas condições óptimas para as plantas C_4 requerer dispêndios muito mais elevados com energia metabólica (respiração) do que acontece nas plantas C_3 , adaptadas a condições mais frescas e menos luminosas (Berry, 1975). Onde as temperaturas e os fluxos de radiação solar sejam elevados, já as plantas C_4 têm maior eficiência desde que os défices hídricos ou as condições físico-químicas do solo não sejam limitantes (Loomis & Gerakis, 1975). Segundo Ehleringer (1978) na América do Norte a latitude a partir da qual as plantas C_3 começam teoricamente a ter vantagens sobre as plantas C_4 são os 45°N.

As práticas agrícolas geram, usualmente, condições ambientais favoráveis às plantas C_4 (temperatura e fluxo de radiação elevados), que nalguns casos disso tiram partido até mesmo como infestantes. Na natureza, porém, as plantas respondem de modos variados à diversidade de factores limitantes e à competição intra- e interespecífica. Por exemplo, em condições em que comunidades de plantas C_3 e C_4 coexistem, como o deserto da grande bacia central dos E. U. A. com invernos frios e precipitações predominantes na Primavera e começo de Verão, verificou-se que a PPL era semelhante para comunidades de ambos os tipos de plantas, embora o período de máxima fixação de carbono diferisse. As plantas C_4 (*Atriplex confertifolia*) foram mais eficazes no Verão enquanto as C_3 (*Ceratoides lanata*) atingiram maior eficiência na Primavera (Caldwell *et al.*, 1977). Por outro lado, as plantas C_4 são extremamente raras em ecossistemas de clima mediterrâneo (Mooney *et al.*, 1977), possivelmente porque mesmo uma elevada eficiência de uso da água não traz vantagens definitivas em áreas caracterizadas por longos Verões quentes, mas secos, se não for acompanhada de outros tipos de adaptação. Uma vez que o Inverno é húmido mas relativamente frio, plantas C_3 , perenifólias, com folhas esclerófitas resistentes à secura, sistemas radiculares profundos, ou

anuais de Inverno-Primavera, podem em tais climas fotossintetizar com eficiência durante uma maior parte do ano do que as plantas C_3 . Esta interpretação é reforçada pelo facto de plantas C_4 aparecerem com certa frequência em regiões adjacentes às de clima mediterrâneo do Chile e Califórnia, mas com chuvas de Verão e temperaturas elevadas (Mooney *et al.*, 1977). Porém, a possibilidade de as plantas explorarem os recursos disponíveis ocupando diversos *nichos* ecológicos, leva a que não se verifique uma predominância muito acentuada das plantas C_4 mesmo em ambientes que lhes sejam potencialmente favoráveis, como por exemplo em comunidades vegetais de regiões desérticas, onde as espécies C_4 não parecem ser competitivamente superiores às C_3 aí adaptadas (Baskin & Baskin, 1978).

A outra classe de processos envolvidos na fotossíntese são os processos de difusão. Para atingir os cloroplastos o CO_2 tem que penetrar nas folhas, principalmente através das aberturas estomáticas, passando depois através das membranas celular e do cloroplasto. A difusão através dos estomas é particularmente importante visto que a abertura estomática varia em resposta a factores ambientais (como a luz, o balanço hídrico, a concentração de CO_2 no ar, etc.) e a factores intrínsecos da planta (por exemplo, condições prévias da planta). Na natureza, são a luz e as disponibilidades em água os factores que mais frequentemente afectam a abertura estomática. A partir de limites específicos, quer as baixas intensidades luminosas, quer os défices hídricos elevados, provocam o fechamento dos estomas impedindo as trocas gasosas com o ambiente. Este fenómeno, se tem vantagens para a economia da água, tem desvantagens para o processo de assimilação do carbono, uma vez que a via de saída do vapor de água da planta é a mesma via pela qual entra o CO_2 . Daí que, dum modo geral, elevadas taxas fotossintéticas equivalam a elevados consumos de água. É por isso essencial calcular a *eficiência do uso da água* (quantidade de matéria seca produzida por unidade de massa de água perdida) a par da *eficiência fotossintética* (razão entre a energia acumulada fotossinteticamente e a energia solar absorvida) quando se avaliam as plantas cultivadas. Em condições de elevada evapotranspiração potencial, as plantas C_4 conseguem, em regra, maior eficiência do uso da água do que as plantas C_3 . Em tais condições as plantas C_4 conseguem produzir aproximadamente 4 mg de matéria seca por g de água transpirada, enquanto as C_3 não passam de 1 a 2 $mg.g^{-1}$. Contudo, em

geral, as condições que permitem otimizar a eficiência do uso da água nas espécies C₃ diferem das condições inerentes à taxa máxima de crescimento possível (Berry, 1975).

O índice de área foliar

Para cada comunidade vegetal há um nível crítico de valores de IAF a partir dos quais a PPL é máxima. Em muitos ecossistemas agrícolas, este nível está próximo de 4 (isto é, 4 ha de folhas em cada ha de terreno). Abaixo do IAF crítico a PPL baixa por subocupação da potencialidade produtiva, mesmo que a TLA seja elevada. Porém, uma folhagem demasiado densa implica igualmente uma redução da PPL, em consequência do ensombramento mútuo e da competição. A relação entre o IAF e a produtividade é representada pela curva idealizada na Fig. 2. Este tipo de curva tanto se aplica às culturas agrícolas (Duncan, 1975) como às florestais (Gomes & Alves, 1968). A amplitude de valores de IAF a que se verifica a máxima PPL é variável com as espécies, a latitude, etc.

A quantidade de luz interceptada não depende apenas do IAF, mas também da orientação das folhas e dos ramos, da densidade de fluxo de radiação e do ângulo da luz incidente. Com uma disposição próxima da horizontal, as folhas das camadas superiores interceptarão a maior parte da luz, deixando as inferiores em situação de produtividade fraca ou mesmo negativa (isto é, abaixo do ponto de compensação, em que a fotossíntese iguala a respiração). Por outro lado, plantas com folhas mais erectas, que façam ângulos com a horizontal próximos de 60° ou, por exemplo, ramificações afastadas da horizontal e folhas pendentes como têm alguns eucaliptos e choupos, têm geralmente valores críticos de IAF superiores e podem, em igualdade de outras circunstâncias, atingir produções mais elevadas.

Para além da arquitectura dos povoamentos, outros factores influenciam o IAF óptimo para a PPL. Por exemplo, as plantas tolerantes ao ensombramento são capazes de produzir folhas eficientes nas condições sombrias do interior do copado. Frequentemente estas folhas são diferentes das da periferia, adaptadas a maior luminosidade e temperaturas mais elevadas. Como consequência, o IAF crítico é mais elevado nas plantas tolerantes ao ensombramento do que nas plantas que o não são. Por outro lado, em igualdade de outras circunstâncias, as plantas C₃ têm geralmente valores de IAF crítico mais elevados do

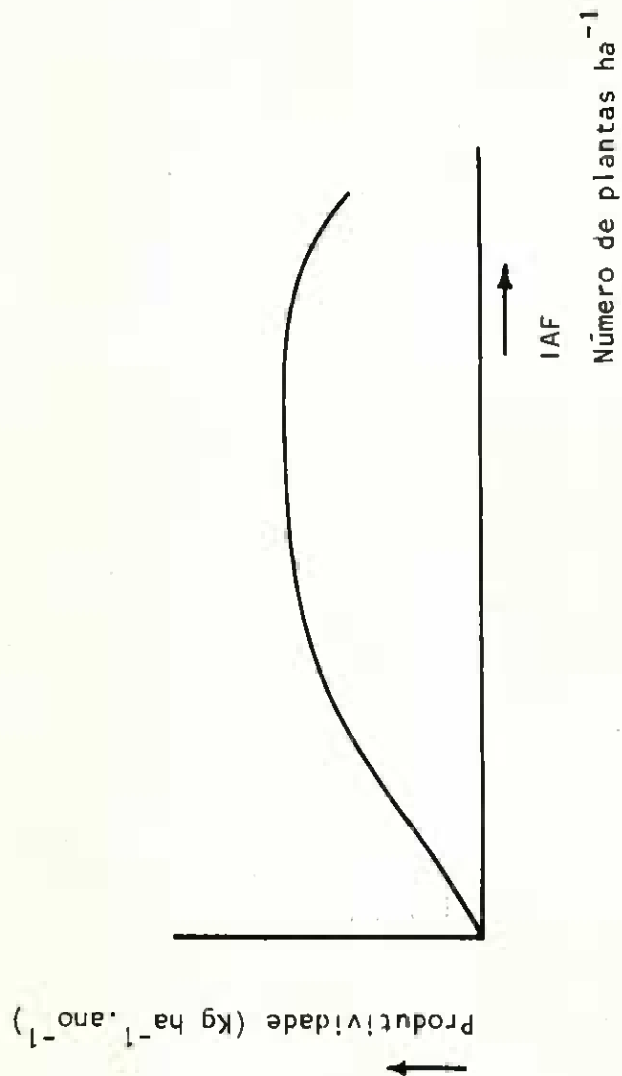


Fig. 2 — Relação idealizada entre o IAF ou a densidade do povoamento vegetal e a produtividade econômica (cereais, madeira, etc.)

Fig. 2 — Idealized relationship between LAI or stand density and yield (cereal grain, merchantable wood, etc.)

que as plantas C₄ uma vez que estas últimas têm folhas pouco eficientes quando não se encontrem a plena luz solar (Berry, 1975; Ehleringer, 1978).

A importância do IAF não diz respeito apenas à eficiência na utilização da energia solar, mas também à eficiência de uso da água. Um baixo índice de ocupação do terreno (valores muito baixos do IAF) leva a que parte da água potencialmente disponível para as plantas seja evaporada ou de outro modo perdida sem que contribua para o processo produtivo. Daí que as florestas, especialmente quando compostas de espécies tolerantes ao ensombramento, com grande densidade de folhagem, tenham eficiências de uso da água semelhantes e mesmo superiores às eficiências de comunidades de plantas agrícolas C₄. As mais baixas eficiências de uso da água verificam-se nos desertos, onde as densidades de coberto são extremamente baixas e uma proporção apreciável de radiação solar é apenas dissipada como calor sensível (Kozlowski, 1976; Pereira, 1978).

O período vegetativo

A produção anual não pode deixar de estar dependente do período durante o qual se realiza a fotossíntese. As baixas temperaturas e/ou o «stress» hídrico são os principais factores que fazem variar a extensão do período vegetativo. Nas regiões em que este é de curta duração — regiões de invernos longos e frios ou áridas — a PPL anual é baixa, mesmo que a TLA atinja valores muito elevados durante períodos curtos com condições favoráveis. Ocasionalmente, têm sido estabelecidas relações empíricas de âmbito regional entre a PPL e a duração do período vegetativo (Lieth, 1975). No entanto a generalização para além do âmbito regional de tais relações é difícil de testar desde que não existam dados fenológicos exactos. As formas empíricas de estimar a extensão do período vegetativo a partir dos dados macroclimáticos são arbitrárias e por isso de utilidade limitada.

As plantas adaptam-se às condições ambientais por terem ciclos de vida que evitam os períodos de «stress» (caso das plantas anuais), ou entrando em dormência para sobreviver aos períodos desfavoráveis. Plantas perenes ou anuais capazes de crescer durante o Outono e Inverno conseguem em geral uma boa ocupação do terreno

logo no início do período mais favorável para a fotossíntese e, por isso, estão adaptadas às condições de sequeiro nas regiões mediterrâneas.

Eficiência energética da produtividade primária

Admitindo uma eficiência energética máxima teórica de cerca de 34 % da energia absorvida, a eficiência máxima do processo fotossintético das plantas terrestres parece ser de cerca de 10 % da energia incidente (Nobel, 1974), uma vez que nem toda a energia incidente é fotossinteticamente activa (50 % aproximadamente) e, desta, uma parte é reflectida, outra transmitida e outra ainda absorvida pelos materiais não fotossintéticos das folhas. Dum modo geral, são de esperar na agricultura eficiências máximas de conversão da radiação solar da ordem dos 3-4 % para plantas C_3 e 5-6 % para as plantas C_4 (Cooper, 1975), embora números muito elevados (até 9 %) tenham sido verificados em ambos os tipos de plantas, o que mostra bem o potencial inexplorado no campo do melhoramento de plantas e no da condução dos povoamentos. Porém tais produtividades máximas só ocorrem durante um período curto da estação de crescimento, quando o terreno está suficientemente bem ocupado e as condições ambientais são favoráveis. Por isso a percentagem média de energia fixada é geralmente inferior. O Quadro I apresenta alguns valores da eficiência de conversão da radiação solar em diversas culturas.

Em termos globais, a percentagem da energia da radiação solar incidente que é fixada anualmente pelas plantas oscila entre 0,05 e 1 a 1,5 %. Tendo em atenção que a radiação fotossinteticamente activa representa cerca de metade da radiação incidente, a eficiência da captação de energia passa a ser de aproximadamente de 0,1 a 2 ou 3 % desta radiação (Wassink, 1975).

A produção líquida da biosfera pode ser estimada em cerca de 345×10^{15} MJ. ano⁻¹ (Whittaker & Likens, 1975), mas a sua distribuição à superfície do Globo não é uniforme. Na terra firme concentra-se a maior parte dessa produção (cerca de 70 %) bem como 99 % da biomassa, apesar de os oceanos cobrirem cerca de 70 % da área do planeta. As terras agrícolas, que cobrem 2,7 % dessa área, contribuem com 5 % da produção primária anual da biosfera. As

QUADRO I

Relações entre a PPL e a produção económica e eficiência de conversão da energia da radiação solar para algumas culturas agrícolas e florestais. Note-se que as produções agrícolas citadas são, em regra, elevadas, próximo do máximo obtível para cada região, ao contrário dos exemplos florestais que dizem respeito a ecossistemas naturais ou com pouca intervenção da silvicultura, com excepção das plantações de *Pinus radiata*.

CULTURA	LOCALIZAÇÃO	P.P.L. t.mat.seca. ha ⁻¹ .ano ⁻¹	PRODUÇÃO ECONÓMICA t.mat.seca. ha ⁻¹ .ano ⁻¹	EFICIÊNCIA DA PROD. ECON. ^{a)} (%)	EFICIÊNCIA DE CON- VERSÃO DA RADIAÇÃO SOLAR ANUAL %		BIBLIOGRAFIA
					DA P.P.L.	DA PROD. ECONÓMICA	
Culturas agrícolas							
Trigo (<i>Triticum vulgare</i>)	Holanda	12	6	50	—	—	COOPER (1975)
	México	18	7	38	1,0	0,4	LOOMIS & GERAKIS (1975)
Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	Califórnia	22	11	50	1,4	0,7	LOOMIS & GERAKIS (1975)
	Perú	22	12	54	1,5	0,8	COOPER (1975)
Milho (grão) (<i>Zea mays</i>)	Califórnia	26	13	50	1,7	0,8	LOOMIS & GERAKIS (1975)
	Perú	26	10	38	1,7	0,7	LOOMIS & GERAKIS (1975)
Mandloca (<i>Manihot esculenta</i>)	Malásia	38	22	58	2,5	1,4	COOPER (1975)
Beterraba (<i>Beta vulgaris</i>)	Reino Unido	23	8 ^{b)}	34	2,5	0,8	COOPER (1975)
	Califórnia	42	19 ^{b)}	45	2,6	1,1	LOOMIS & GERAKIS (1975)
Cana de açúcar (<i>Saccharinum sp.</i>)	Hawai	64	22 ^{b)}	34	4,0	1,2	COOPER (1975)
Amendoim (<i>Arachys hypogea</i>)	Geórgia (USA)	9,6	3,4	35	—	—	PALLAS & STANSELL (1978)
Florestas^{c)}							
Plantação de <i>Pinus radiata</i>	Nova Zelândia	44 ^{d)}	23,5	53	1,4 ^{e)}	0,7 ^{e)}	WILL (1964)
Plantação de <i>Pinus taeda</i>	Carolina do Norte (USA)	19	9,5	50	—	—	NEMETH (1973)
Floresta de montanha de abeto e picea	Tennessee (USA)	12	3,8	30	—	—	WHITTAKER & WOODWELL (1971)
Floresta de <i>Liriodendron tulipifera</i>	Tennessee (USA)	12	3,2	28	0,41	0,11	SOLINS <i>et al.</i> (1973)
Floresta mista com dominância de <i>Populus tremuloides</i>	Wisconsin (USA)	12,5	4,4	35	0,42 ^{e)}	0,18 ^{e)}	CROW (1978)
Floresta mista dominada por <i>Quercus</i> , <i>Fagus</i> e <i>Carpinus</i>	Bélgica	14,6	2,7	18	0,75 ^{e)}	0,12 ^{e)}	DUVIGNEAUD & DENAEYER-DE SMET (1970)
Floresta mista dominada por <i>Quercus robur</i>	Suécia	16	1,9	13	—	—	ANDERSSON (1971)

a) Percentagem da produção económica em relação à PPL; b) açúcar; c) no caso das florestas a PPL refere-se ao total para o ecossistema incluindo a parte subterrânea e a produção económica refere-se à madeira do tronco; d) plantações das melhores classes de qualidade e admitindo uma produtividade das raízes igual a 16% da biomassa aérea (SANTANTONIO *et al.*, 1977); e) dados de radiação solar de GENTILLI (1970) para a Nova Zelândia, de ROSENDAL & TANNER (1970) para Wisconsin, e de GALOUX (1971) para Virelles (Bélgica).

florestas, porém, são o tipo de ecossistema onde se concentra a maior parcela da produção primária (cerca de metade do total) e da biomassa (92 % do total), apesar de cobrirem apenas 11 % da superfície do Globo. Assim, a importância das florestas não se cifra apenas no fornecimento ao Homem de matérias primas e serviços (turismo, protecção ambiental, etc.) mas também numa contribuição significativa para a estabilidade do teor em CO_2 da atmosfera, uma vez que nas florestas se acumulam cerca de 1060×10^9 t de carbono, cuja taxa de circulação na biosfera é muito lenta. Esta quantidade representa a maior parte (60 %) do carbono ligado à matéria orgânica viva na biosfera (Baes *et al.*, 1977).

A UTILIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMARIA PELO HOMEM

Apesar da sua grande capacidade de intervenção na natureza, o Homem, como consumidor, depende da energia acumulada na PPL, tal como os outros organismos heterotróficos. Porém, de acordo com Blaxter (1978), consome por ano apenas cerca de 1,6 % da produção anual de material vegetal. Da matéria orgânica usada pelo Homem, 64 % aproximadamente servem-lhe de alimento, 19 % são queimados como combustível, e o resto é utilizado em indústrias (textil, pastas celulósicas, etc.).

Até cerca de 10 000 anos antes da nossa era, os agrupamentos sociais das diversas espécies de homínídeos que se expandiram sobre a terra tiveram, tanto quanto se julga saber, um comportamento de meros colectores e/ou caçadores. Provavelmente, a sua acção na modificação do padrão do fluxo de energia resumia-se, a partir de certa altura, à capacidade de investir uma fracção da energia recebida dos alimentos na fabricação de instrumentos simples que tornavam mais eficiente a sua actividade de caçadores e aumentavam o rendimento das transferências de energia para o seu nível trófico. Parece admissível que eles próprios fossem presas para espécies de nível trófico mais elevado.

A descoberta da forma de usar o fogo, que parece ter ocorrido em vários pontos do Globo entre 750 000 e 250 000 a. C. (McEvedy, 1973), sem originar propriamente um subsídio de energia, permitiu ao Homem a ocupação de ambientes climaticamente desfavoráveis, mas potencialmente ricos em alimentos. Tornou também possível a

libertação da energia retida nas ligações químicas da celulose e da lenhina dos órgãos vegetais combustíveis, substâncias que poucos heterotróficos podem utilizar como alimento, o que aumentou a eficiência da transferência de energia dos autotróficos para os homínidos. Alguns produtos alimentares que não eram rendíveis do ponto de vista energético ou que não eram mesmo acessíveis em natureza passaram a sê-lo após cozinhados.

O uso do fogo é tido como um factor importante na evolução das sociedades primitivas de pastores ou agricultores nómadas. Contudo, tal factor deve ser tomado como condição necessária, mas não suficiente, na medida em que tais sociedades só ocorrem em presença de factores de organização social que não dependem directamente do uso do fogo (Childe, 1947; Odum & Odum, 1976).

Remonta aos primeiros povos de pastores e de agricultores a capacidade do Homem para intervir significativamente no fluxo de energia dos ecossistemas. Nos sistemas naturais a produtividade não ultrapassa, nas melhores condições, os 6 kg de proteína comestível por ano e por hectare (Slessor, 1975). A prática da agricultura e da pastorícia — iniciadas provavelmente 9 000 a. C. no Médio Oriente e a partir de 5 000 a. C. na Península Ibérica (Savory, 1974) — permitiu, em determinadas áreas encaminhar a maior parte do fluxo de energia através de espécies, vegetais ou animais, capazes de satisfazer de forma mais eficiente as necessidades alimentares humanas. A densidade populacional subiu de forma espectacular, primeiro localizadamente e depois em quase toda a Terra, uma vez que se passou a dispor duma fonte de alimentos mais abundante e menos contingente do que a caça, a pesca e a simples recolha de produtos naturais.

Este tipo de intervenções, que implica a simplificação e lineariização das cadeias tróficas, caracteriza ainda na sua essência a agricultura actual. Tem a sua contrapartida no investimento de energia subsidiária que lhe é indispensável e que tem vindo sempre a aumentar ao longo da História. Estes subsídios de energia são utilizados na eliminação de competidores e no favorecimento da espécie ou espécies vegetais desejadas — através da mobilização do solo, aplicação de nutrientes, sementeira ou plantação apenas da espécie ou espécies em causa, com inibição doutras — e também na eliminação dos competidores do Homem ou dos animais domésticos, por exemplo insectos, roedores, agentes patogénicos. Tendo beneficiado de apreciável sucesso no combate aos competidores de maior porte, o homem debate-se

ainda com os problemas dos insectos, doenças (das plantas e do gado) e plantas infestantes. Em globo, estes factores são responsáveis por perdas anuais estimadas em 35 % das colheitas em todo o mundo (H. Smith, 1978). A protecção das culturas na agricultura moderna consome avultados subsídios energéticos.

A agricultura das sociedades industriais continua a utilizar as relações ecológicas e as cadeias alimentares existentes na natureza, mas caracteriza-se por níveis de produtividade mais elevados e modificações quantitativas e qualitativas na acção do Homem, em relação à agricultura primitiva. Por exemplo, a mecanização não implica simplesmente a substituição do trabalho humano e animal mas também uma enorme intensificação na energia consumida por unidade de área e modificações no tipo de tarefas executadas. O rendimento das transferências de energia entre níveis tróficos, contudo, raramente é superior aos rendimentos da agricultura não subsidiada ou dos ecossistemas naturais da mesma região. Há mais energia no fim da cadeia apenas porque há mais energia que entra, sob a forma de subsídios, em vários pontos do fluxo.

Tenha-se ainda em atenção que não utilizamos a totalidade da produção das plantas agrícolas e florestais, mas apenas uma parte que, frequentemente, é inferior a 50 % da PPL, sem contar com perdas de colheita, processamento e desperdícios (ver Quadro I). Na agricultura das sociedades industriais, um dos objectivos do melhoramento genético das plantas e dos animais é, precisamente, canalizar uma fracção cada vez maior da energia para as porções comestíveis dumas e doutros. Por exemplo, a maior produtividade das variedades de plantas cultivadas para aproveitamento do grão (trigo, milho, etc.) não reside no aumento da capacidade fotossintética, mas apenas na maior aptidão para acumular matéria seca no grão (Evans, 1977). Quanto às florestas, a percentagem da PPL acumulada na madeira do tronco, tende a ser maior nas regiões temperadas do que nas tropicais, onde a maior parte da produção anual se concentra na folhagem (Jordan & Murphy, 1978). A intervenção da silvicultura é quase sempre feita no sentido de concentrar no material lenhoso a maior parte do acréscimo anual de biomassa de acordo com critérios de qualidade estabelecidos.

Esta questão liga-se também às densidades dos povoamentos e consequentemente às relações entre o IAF e a PPL. Por exemplo, as máximas produções de milho para forragem (máxima PPL) conseguem-se a densidades da ordem das 200 000 plantas por ha ou mais.

Porém as máximas produções de grão ocorrem com densidades entre 40 000 e 70 000 plantas por ha (Loomis & Gerakis, 1975). Do mesmo modo, em silvicultura, não é indiferente ter uma mesma PPL distribuída por muitas árvores mais pequenas ou menos árvores maiores. Parece pois incorrecto generalizar a afirmação, como faz Odum (1971), de que a natureza procura maximizar a produção primária bruta enquanto o Homem procura maximizar a produção primária líquida. Aquilo que o Homem procura maximizar é uma produção económica e isso pode não coincidir com a máxima PPL possível.

Para além disso, ao introduzir animais na cadeia trófica o homem perde uma parte substancial da energia existente nos alimentos vegetais. Por exemplo, no caso de frangos e porcos, apenas 10 % (em média) da energia que se encontrava disponível na alimentação é convertida em carne comestível (Heichel, 1976) e, se contabilizarmos os subsídios de energia aplicados na produção e uso das rações e na criação dos animais, este rendimento desce para valores significativamente mais baixos. Podem ocorrer, no entanto, circunstâncias que justifiquem dum ponto de vista estritamente energético a utilização de animais como intermediários no processo de transferência de energia para o homem. É o que acontece, por exemplo, em solos cuja potencialidade produtiva seja explorada de forma mais correcta com pastagens do que com outras culturas. Isto é particularmente significativo no caso de se utilizarem animais poligástricos (ovinos, caprinos e bovinos), os quais, ao contrário dos monogástricos como o Homem, podem fazer um aproveitamento muito mais completo da produção primária líquida. Mercê da simbiose com os microorganismos do estômago, os poligástricos ou ruminantes conseguem assimilar a celulose que representa uma larga percentagem da biomassa vegetal. Por outro lado, nos ecossistemas aquáticos, cuja produção primária é difícil de aproveitar directamente, também pode ser até certo ponto justificável a utilização de animais.

SUBSÍDIOS DE ENERGIA NOS ECOSSISTEMAS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS

Os subsídios de energia mais facilmente contabilizáveis são os que se aplicam directamente no processo produtivo: energia consumida na preparação do solo, na sementeira (ou plantação), na colheita, na distribuição de adubos, etc. Contudo, a preparação e distribuição

de matérias primas e bens de equipamento indispensáveis ao cultivo constituem também subsídios de energia, aplicados a montante da exploração: fabricação e distribuição de tractores, alfaías, adubos e pesticidas, armazenamento e distribuição de água para rega, etc. Por outro lado, é necessária mais energia para a colocar à disposição dos consumidores: armazenamento, embalagem e/ou processamento e distribuição. Aliás, nota-se na bibliografia uma certa confusão relativamente à terminologia pois alguns autores consideram apenas os subsídios de energia até à obtenção da produção agrícola (energia cultural) enquanto outros consideram que o termo subsídios de energia se deve referir a todos os subsídios energéticos até à obtenção do produto final, ou seja, até à mesa do consumidor no caso dos alimentos. Pela nossa parte optaremos por não considerar os subsídios de energia no seu sentido mais amplo, referindo-nos essencialmente à energia cultural, isto é, energia gasta nas actividades agrícolas e a montante destas.

Embora os sistemas agrícolas não se destinem apenas à produção de alimentos, este sector reveste-se duma importância suficiente para justificar uma análise mais pormenorizada da aplicação de energia subsidiária. Em países economicamente desenvolvidos os consumos energéticos totais no sector alimentar representam frequentemente 10 a 12 % do consumo nacional de energia (Slessor, 1975). Regra geral, a energia cultural representa menos de metade desta percentagem. Embora com variações de país para país, o panorama não se tem modificado muito nos últimos tempos, apesar dos aumentos constantes nos consumos energéticos na produção e preparação de alimentos nas sociedades industrializadas. Por exemplo, nos Estados Unidos, o consumo total de energia na produção, processamento, distribuição, conservação e preparação de alimentos cresceu 3,2 vezes em trinta anos (de 1940 a 1970) embora não se tenha alterado substancialmente a estrutura do mesmo consumo (Hawthorn, 1975). Entretanto, a razão entre o *input* de energia subsidiária e o *output* de energia nos alimentos cresceu cerca de 2 vezes, isto é, a eficiência da transferência da energia subsidiária para os alimentos baixou, em termos gerais.

Nos últimos anos também se tem registado um grande aumento no consumo de energia comercial no sector florestal. Porém, mesmo num país como a Suécia, o consumo total de energia subsidiária na produção florestal, incluindo os transportes da floresta para os locais

de transformação, não excedeu $1,6 \times 10^{10}$ MJ em 1972 (Nilsson, 1977) o que não é mais do que cerca de 1 % do consumo nacional de energia comercial (U. N. Statistical Yearbook, 1975). Neste país são os transportes da madeira desde a floresta até aos locais de transformação que contribuem maioritariamente para o total desses subsídios energéticos (mais de 60 %). Tal como tem acontecido na agricultura dos países desenvolvidos, o aumento nos subsídios de energia não implica um aumento na eficiência do seu uso, a qual baixou para metade entre 1956 e 1972 na Suécia (Nilsson, 1977).

Subsídios de energia na produção vegetal

O Quadro II ilustra, para diversas culturas e níveis de desenvolvimento económico, a produtividade dos subsídios energéticos na produção de alimentos em termos de energia alimentar e proteína. Tal como Fluck (1979) sugere, a produtividade energética, isto é, a quantidade de produto por unidade de energia consumida, é uma maneira adequada de expressar a eficiência dos subsídios de energia. É importante porém que estes valores sejam significativos e comparáveis entre si, por exemplo, energia alimentar e proteína na produção de alimentos, matéria seca no caso da produção florestal ou de fibras.

Dum modo geral, nos países economicamente desenvolvidos, culturas como os cereais, a soja, o amendoim e a cana sacarina, têm produtividades energéticas relativamente elevadas (Heichel, 1976; Pallas & Stansell, 1978). Porém, a produtividade, em termos de energia alimentar e proteína, baixa muito quando consideramos a horticultura e a fruticultura (Heichel, 1976). O mesmo não acontece quando consideramos a produtividade em termos de peso de produto por MJ (Fluck, 1979), uma vez que estes produtos são, em geral, comercializados com elevado teor em água. Esta situação dá ênfase à necessidade de cuidado ao comparar sistemas de produção ou produtos, dum ponto de vista da eficiência energética.

Nos países economicamente menos desenvolvidos o investimento energético em subsídios à agricultura tradicional é geralmente muito baixo, mesmo quando se contabiliza o trabalho braçal e/ou de animais domésticos que são, na maior parte dos casos, a fracção mais importante da energia cultural (Lipton, 1975; Slessor, 1975). Em consequência, a produtividade da energia subsidiária é muito elevada

QUADRO II
Eficiência dos subsídios de energia em diversas culturas e sistemas de agricultura.

PRODUTO	PRODUÇÃO (t.ha. ⁻¹ ano ⁻¹)	Energia alimentar Energia subsidiária*	Proteína Energia subsidiária* (g/MJ)	BIBLIOGRAFIA	OBSERVAÇÕES
Prod. animais					
Leite (pastagem todo o ano)	10,3	23,33	292	N. E. SMITH (1978)	Possível na Nova Zelândia, Açores, p. ex.
Leite (alimentação à base de milho, grão e silagem)	21,6	2,22	28	N. E. SMITH (1978)	Inputs importantes em fertil. azotadas.
Carne de ovino (Austrália)	0,053 ^{a)}	0,49	5,5	ARNOLD & GALBRAITH (1978)	Pastagem com leguminosas e adubações com super fosfato apenas.
Carne de ovino (Inglaterra)	0,193 ^{a)}	0,24	2,7	ARNOLD & GALBRAITH	Adubações com fertil. azotadas.
Carne de bovino (E.U.A.)	0,230 ^{a)}	0,09	1,9	KRUMMEL & DRITSCHILLO (1977)	Regime intensivo, com alimentação à base de cereais.
Forragens					
Luzerna (E.U.A.)	6,45 ^{b)}	4,23	63	KRUMMEL & DRITSCHILLO (1977)	Agricultura sofisticada.
Milho (silagem) (E.U.A.)	16,8 ^{b)}	7,69	32	N. E. SMITH (1978)	Agricultura sofisticada.
Cereais					
Milho (grão) (E.U.A.)	5,1 ^{c)}	2,50	15,2	FAO (1977)	Agricultura sofisticada.
Milho (grão) (México)	0,95 ^{c)}	81,00	494,0	FAO (1977)	Agricultura primitiva.
Trigo (Portugal)	1,1 ^{c)}	1,20	7,7	Quadro III	Agricultura mecanizada, mas com variedades pouco produtivas e fracas adubações.
Trigo (E.U.A.)	2,3 ^{c)}	2,00	17,4	KRUMMEL & DRITSCHILLO (1977)	Agricultura mecanizada.
Arroz (E.U.A.)	5,8 ^{c)}	1,35	6,0	FAO (1977)	Agricultura sofisticada.
Arroz (Filipinas)	2,7 ^{c)}	6,40	28,4	FAO (1977)	Métodos semi-modernos.
Arroz (Filipinas)	1,25 ^{c)}	109,75	484,9	FAO (1977)	Agricultura primitiva.
Leguminosas					
Soja (grão) (E.U.A.)	4,2 ^{c)}	2,75	24,0	HEICHEL (1976)	Agricultura sofisticada.
Amendoim (E.U.A.)	3,4 ^{c)}	3,80	15,7	PALLAS & STANSELL (1978)	Agricultura sofisticada com irrigação e variedades de elevada produção.

* Energia subsidiária com exclusão do trabalho braçal. a) Peso de carne limpa; b) Peso seco; c) Peso do grão.

(ver Quadro II). Embora a produtividade da terra e do trabalho sejam reduzidas, a pouca energia cultural aplicada é com frequência transferida para os alimentos com um rendimento mais elevado do que nos sistemas de agricultura muito subsidiados. Assim, uma determinada cultura m regiões tende a responder a acréscimos unitários em energia cultural com acréscimos em energia produzida, geralmente muito superiores à unidade. A eficiência de utilização da energia cultural é muito mais baixa nos sistemas de agricultura moderna sofisticada, o que significa que se aplica à energia subsidiária (tal como ao trabalho humano) a lei dos «acréscimos decrescentes» (Heichel & Frink, 1975; Slessor, 1975; Blaxter, 1978). Estudos feitos no nosso país verificam esta tendência (Borges Pires, comunic. pessoal).

É importante conhecer discriminadamente, e para cada cultura, quais as operações culturais e factores de produção exigidos e a sua importância relativa em termos energéticos. No Quadro III apresentam-se, a título de exemplo, valores para a distribuição de consumos de energia subsidiária em algumas culturas em diferentes sistemas de agricultura. Na maior parte das culturas, o dispêndio crítico de energia cultural situa-se a nível das adubações, especialmente das azotadas, as quais representam com frequência cerca de 1/3 da energia subsidiária (Olson, 1977; Hardy *et al.*, 1978). Com efeito, a fixação industrial de azoto consome elevadas quantidades de combustíveis fósseis: em média, 67 MJ por Kg de azoto fixado (Slessor, 1975), sem contabilizar os gastos em transportes. Por outro lado, o aumento substancial nas produções agrícolas dos países desenvolvidos tem resultado, não só da obtenção de plantas mais produtivas, mas também do consumo de quantidades elevadas de adubos azotados. A utilização em larga escala de estrumes e outros resíduos orgânicos é uma alternativa válida para a substituição parcial das adubações, desde que as distâncias de transporte não sejam excessivas.

Importa também aumentar a eficiência das fertilizações químicas ajustando-as às condições do solo, sem perder de vista a situação deste no que se refere a modificações das características físico-químicas devidas a fertilizações anteriores, possibilidades de fixação biológica do azoto e recepção de nutrientes com as precipitações (Olson, 1977; Frissel, 1978). Em muitos casos, as fertilizações poderão ser encaradas como benfeitorias destinadas ao melhoramento físico-químico dos solos. Por outro lado, o uso de doses muito elevadas de adubos químicos, e/ou técnicas culturais inadequadas, podem implicar a inten-

sificação das saídas de nutrientes dos ecossistemas com impacte negativo na eficiência das fertilizações e na qualidade das águas superficiais e subterrâneas da região (Ramade, 1975; Frissel, 1978).

A fixação biológica do azoto pode ser importante na redução da quantidade de combustíveis fósseis utilizados na agricultura e é presentemente objecto de intensa investigação. As leguminosas podem fixar, por via simbiótica, praticamente a totalidade das suas necessidades neste elemento. Porém essa fixação tem a sua contrapartida num certo dispêndio de energia metabólica, que pode ir até 270 MJ por Kg de azoto fixado, sendo 60 MJ. Kg⁻¹ consumidos na própria fixação e o remanescente na manutenção dos nódulos, de cujo funcionamento depende a fixação (Hardy *et al.*, 1978). Nestas circunstâncias as leguminosas têm de desviar uma parte do produto da fotossíntese para a fixação de azoto. Todavia algumas produzem alimentos ricos em proteínas e existem variedades de soja e amendoim com elevada eficiência fotossintética. Por outro lado, as siderações com espécies leguminosas poderão ser de muito interesse desde que, como é evidente, não entrem em competição com os objectivos económicos da produção. Quando são viáveis duas culturas por ano, pode haver vantagem em semear uma leguminosa para enterrar a seguir à cultura principal (Pimentel *et al.*, 1973; Heichel, 1976). Porém a eficiência é maior quando a cultura possa beneficiar significativamente do azoto fixado por organismos livres ou em simbiose com plantas diferentes da cultura principal, como acontece com a simbiose do feto aquático *Azolla* e algas verdes azuladas nos campos de arroz. Contudo, com excepção do exemplo referido, o azoto fixado por organismos livres é, usualmente, irrelevante no total necessário a elevadas produções agrícolas (Hardy *et al.*, 1978).

Finalmente, o melhoramento genético pode também ter uma contribuição apreciável para a melhoria da eficiência da utilização dos subsídios energéticos. Há que produzir e expandir cultivares altamente produtivas mas resistentes a doenças e pragas, que tenham simultaneamente elevadas eficiências fotossintética e de uso da água e dos minerais, bem como ciclos de vida adaptados ao clima de cada região.

Ao sector não alimentar da produção vegetal aplicam-se muitas das considerações feitas anteriormente. A eficiência de uso da energia cultural é muito variável, sendo em geral maior na silvicultura do que na agricultura industrializada. Por exemplo, enquanto no caso de silvicultura intensiva como a do eucalipto em Portugal (Quadro III)

QUADRO III

Importância relativa de vários subsídios de energia (MJ, ha⁻¹) e produtividade da energia subsidiária (Kg prod. MJ⁻¹) em diversas culturas (mod. de Pereira e Fabião, 1978).

	Milho para grão (E.U.A.) (1)	Cana de açúcar (2)		Batata (Reino Unido) (3)	Trigo (Alto Alentejo) (4)	Milho silagem pouco mecanizado (Conc. Elvas) (4)	Eucalipto (Sul do Tejo) (4)
		não mec.	mecanizada				
Trabalho braçal e/ou animal	50,6	1165,0	38,6	(*)	34,0	437,7	197,7
Maquinaría	4340,5	290,0	9300,0	7840,0	2421,1	2887,4	2470,0
Combustível	8236,6	—	6840,0	7800,0	2957,2	1774,3	1137,4
Fertilização:							
Azoto	9722,7	8400,0	8400,0	18700,0	5360,0	4020,0	2772,0
Fósforo	486,8	420,0	420,0	—	366,6	366,6	—
Potássio	702,7	710,0	710,0	—	206,0	344,4	—
Sementes ou plantas	651,1	(*)	(*)	5030,0	1560,0	1155,0	735,0
Irrigação	351,4	(*)	(*)	—	—	(*)	—
Pesticida e Herbicida	227,4	—	170,0	1240,0	—	—	—
Processamento na exploração	1240,1	—	—	570,0 ^e	—	(*)	31193,5 ^e
Electricidade	3203,7	—	—	—	—	—	—
Transporte	723,4	—	3660,0 ^d	(*)	(**)	(**)	(**)
Processamento fora da exploração	29937,0	10251,0 ^b	10251,0 ^b	—	—	—	—
Input total	—	21236,0	39789,6	41180,0	12903,9	10985,4	38505,6
Produção económica	84379,0 ^a	109830,0 ^c	109830,0 ^c	83600,0	15180,0(grão) 24560,0(palha+grão)	77646,6	2787,7-10 ^a b)
Razão energética: $\frac{\text{Prod.}}{\text{Input}}$	2,8	5,2	2,8	2,0	1,2(grão) 1,9(palha+grão)	7,1	72,4
Produtividade energética (kg prod. MJ ⁻¹)	0,152	0,330 ^c	0,176 ^c	—	0,085(grão)	2,116	3,810 ^d (peso seco) 2,500 (peso seco de madeira)

(*) não calculado; (**) já incluído noutras rubricas

a) 56 grão; b) combustível para maquinaria da fábrica; c) só açúcar; d) combustível no transporte até à fábrica; e) só armazenamento; f) rotação de 10 anos; g) abate, tracagem e extração; h) na hipótese de utilização integral da árvore.

(1) PIMENTEL *et al.*, 1973.

(2) HUDSON, 1975.

(3) WALSHINGHAM, 1977.

(4) FABIÃO e PEREIRA, não publicado.

o consumo da energia subsidiária foi de cerca de $0,4 \times 10^3$ MJ por t de madeira comercializável, no caso do algodão nos E. U. A., o consumo foi de 49×10^{13} MJ por t de fibra (Winkle *et al.*, 1978), contra $7,2 \times 10^{13}$ MJ por t de cereais, em média, nos países economicamente desenvolvidos (F. A. O., 1977). Na produção de algodão nos E. U. A., o panorama da distribuição da energia cultural não difere do das outras culturas em sistemas de agricultura semelhantes. No eucaliptal, são as operações de abate, traçagem, extracção e carregamento que constituem a maior parcela da energia cultural (Quadro III). Na Suécia tem sido também a mecanização destas operações que mais tem contribuído para o aumento da energia cultural na floresta (Nilsson, 1977).

Subsídios de energia na pecuária

Existe grande variabilidade quanto à eficiência do uso de energia subsidiária dos sistemas de produção animal. Dum modo geral, a produção de ovos ou leite permite a obtenção de maiores quantidades de proteínas por unidade de energia subsidiária do que a produção de carne (Krummel & Dritschilo, 1977). As maiores eficiências dizem respeito à produção de leite em pastagem todo o ano (como é, por exemplo, possível na Nova Zelândia e nos Açores). Esta eficiência (Quadro II) é 8 a 14 vezes superior à produção leiteira com outros regimes de alimentação (N. E. Smith, 1978). Muito embora as máximas produções não digam respeito ao regime de pastagem todo o ano, esta elevada eficiência deve-se essencialmente a uma energia subsidiária quase nula.

Na produção de carne também se verificam diferenças apreciáveis entre os sistemas intensivos e extensivos. A produção de carne de bovino em regime extensivo de pastagem é bastante mais frugal do ponto de vista da utilização dos subsídios energéticos, necessitando em média, nos E. U. A., apenas de 1/3 da energia fóssil necessária para produzir a mesma quantidade de proteína em regime intensivo à base de concentrado (Krummel & Dritschilo, 1977). A produção de carne de ovino é muito mais eficaz na Austrália em pastagem com leguminosas, do que na Inglaterra em agricultura intensiva. Isto deve-se à utilização liberal de adubação azotada na Inglaterra e à sua ausência na Austrália onde as leguminosas fixam o azoto necessário às plantas (Arnold & Galbraith, 1978). Na Aus-

trália, o principal factor que influencia a eficiência de uso dos subsídios energéticos é a capacidade produtiva do meio, em larga medida dependente da precipitação (Krummel & Dritschilo, 1977; Arnold & Galbraith, 1978).

Do que atrás ficou escrito, transparece a ineficiência energética da produção de carne de bovino à base de concentrados. Acrescente-se que neste caso os animais consomem em larga medida cereais e outros produtos que, em princípio, poderiam ser utilizados directamente na alimentação humana. Em contrapartida, o incremento de pastagens, com gramíneas e leguminosas, a serem utilizadas na produção leiteira (com a produção secundária de carne) e de carne de ovino, são alternativas de muito interesse quando se pretenda economizar combustíveis fósseis. No entanto, o delineamento de uma política para este sector deverá ter em conta factores sociais como o do emprego e o da necessidade da intensificação cultural em cada fase da evolução histórica de um país.

O homem utiliza sistemas de produção animal devido a tradições alimentares que vêm da própria pré-história, e porque procura na carne uma fonte de proteína contendo amino-ácidos essenciais como a lisina, o triptofano e a metionina, que faltam na proteína da maioria dos vegetais. Todavia, ao fazê-lo, uma proporção apreciável da energia contida na PPL é perdida. Comparando a eficiência do uso de subsídios de energia, em termos de produção proteica, de plantas leguminosas e de sistemas intensivos de produção de carne, verifica-se que leguminosas como a soja podem produzir 60 vezes mais proteínas por unidade de energia subsidiária do que a vaca ou o porco alimentados com concentrados, e 15 vezes mais proteínas que o frango (Heichel, 1976). Com excepção da produção de leite em regime de pastagem todo o ano, o qual aliás só é possível em regiões restritas do mundo, todos os produtos animais são bastante menos eficientes na produção de proteína do que os vegetais em sistemas de agricultura industrializada (ver Quadro II). Actualmente a proteína de soja (de elevada qualidade nutricional) já vem sendo utilizada como aditivo ou até como substituto da carne na alimentação humana. Por outro lado, estão em curso trabalhos de investigação de extractos proteicos de folhas, de outro modo não utilizáveis pelo homem, e de proteína de organismos unicelulares a partir de substractos celulósicos. Embora a energética destes processos seja ainda uma incógnita, eles podem revelar-se prometedores na produção de alimentos proteicos.

A UTILIZAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Em muitas situações, o aproveitamento integral da capacidade produtiva do meio passa pela articulação da agricultura e da aquicultura, reservando a esta solos dificilmente aproveitáveis doutra forma e as albufeiras de barragens destinadas à rega. A produção aquícola pode destinar-se ao repovoamento de ecossistemas naturais ou ser directamente comercializável. Frequentemente, o objectivo tem sido apenas o melhor aproveitamento de recursos naturais ao nível de subsistência, sem fazer investimentos apreciáveis em energia (Huet, 1978; Nakamura, 1978).

Apesar de se ter verificado em muitos casos a introdução de melhoramentos técnicos na aquicultura, esta não atingiu nem de longe o grau de sofisticação da agricultura industrializada. A intensificação da aquicultura tem sido frequentemente orientada para a produção de peixes susceptíveis de atingir preços elevados (truta, por exemplo), muito embora a maioria dessas espécies seja pouco eficiente na conversão de alimentos em carne, ou de manutenção cara (Nakamura, 1978). Isto deve-se, em parte, à escassez de espécies com características favoráveis a este tipo de cultura (Huet, 1978).

Para além dos animais, algumas plantas poderão ser produzidas em aquicultura, teoricamente com vantagens de ponto de vista energético. Por exemplo, algumas das Angiospermas aquáticas são susceptíveis de utilização na produção de fibras, alimentos para animais, estrume ou na produção de metano (ver mais adiante). Trata-se na maior parte dos casos de infestantes de elevada produtividade e de destruição difícil, como o jacinto de água (*Eichhornia*), o que representa um argumento a favor do seu aproveitamento económico. Este, contudo, está frequentemente associado ao uso de massas de água onde há riscos de contaminação com organismos patogénicos, metais pesados, ou pesticidas, originando problemas sanitários difíceis de resolver (Nat. Acad. Sciences (U. S. A.), 1976). Hillman & Culley (1978) estudaram algumas plantas aquáticas da Família das *Lemnaceae* (usualmente designadas por lentilhas, de água) e sugerem, por exemplo, a sua cultura em tanques anexos a uma instalação pecuária. Parte dos dejectos desta seriam utilizados na fertilização dos tanques depois de uma fermentação anaeróbia para produção de metano. As plantas são constituídas quase totalmente por tecido foliar e por isso têm elevado valor nutritivo (37 % de proteína), o

qual poderá ser mesmo superior ao da soja e da luzerna. Com uma PPL de cerca de 18 t. ha⁻¹ ano⁻¹, um sistema deste tipo com 4,5 ha de tanques, poderia suportar cerca de 20 % das necessidades diárias de 100 cabeças de gado leiteiro, embora subsistindo problemas de índole sanitária pouco estudados. A F. A. O. recomenda instalações-piloto semelhantes para a reciclagem de resíduos animais, embora envolvendo a produção de algas (Chenost, 1978).

As alternativas envolvendo a produção de outras plantas, peixes herbívoros e peixes carnívoros, dependem da tecnologia disponível, da potencialidade produtiva e, é claro, da viabilidade económica. Entre as principais limitações salientam-se factores de natureza sanitária e a baixa rendibilidade da colheita e transporte das plantas aquáticas, que têm um teor em água muito elevado (Nat. Acad. Sciences (U. S. A.), 1976; Hillman & Culley, 1978).

A BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA

Na situação económica e energética do mundo actual parece óbvio o interesse de utilizar como fonte de energia um recurso natural renovável, como a biomassa, em substituição dos combustíveis fósseis, não renováveis. Presentemente esse uso é restrito. Em 1974, o material lenhoso queimado constituiu apenas 5,7 % da energia fornecida pelos combustíveis — fósseis e lenhosos — usados no Mundo. Essa percentagem foi de 0,8 % para os países desenvolvidos e 24,4 % para os sub-desenvolvidos (F. A. O., 1977). O uso de resíduos como fonte de energia é ainda mais restrito. Apesar de não parecer viável suprir as necessidades energéticas do Mundo em termos de biomassa, esta pode representar uma forma de aliviar a «pressão» sobre os combustíveis.

A utilização da biomassa como fonte de energia pode revestir aspectos distintos, como a recuperação da energia contida no lixo urbano, a produção de energia a partir de culturas, agrícolas ou florestais, estabelecidas com esse fim, e a recuperação da energia contida nos resíduos das explorações agrícolas e agro-industriais. Têm sido propostos diversos tipos de tecnologia com o objectivo de recuperar a energia contida na biomassa (Pollard, 1976; Payne, 1976; Timbers & Downing, 1977; Boardman, 1978; Hall, 1978). A via mais simples para esta recuperação é a combustão completa em

excesso de ar, especialmente proposta para a produção de vapor de água a usar na produção de electricidade (Payne, 1976). Porém, o poder calórico da matéria orgânica é relativamente baixo (14 a 16 MJ. Kg⁻¹) o que, juntamente com a estrutura do material, dificulta o transporte e utilização. Os processos de tratamento conhecidos podem aumentar o poder calórico para 35 a 58 MJ. Kg⁻¹ (F. A. O., 1977). Entre os produtos cuja tecnologia é relativamente bem conhecida e até, nalguns casos, economicamente viável, conta-se o carvão e o *char-oil* ou «carvão líquido» (constituído pela mistura do carvão moído com os condensáveis da pirólise), obteníveis por pirólise da matéria orgânica; o metanol, que se consegue por pirólise a temperatura elevada e combinação com o hidrogénio; o etanol ou álcool etílico, que se consegue por fermentação e destilação; e o biogás rico em metano, obtível por fermentação anaeróbia.

A pirólise com o fim de produzir carvão (combustível ou susceptível de uso na siderurgia) e «carvão-líquido», poderá ser aplicada com maior vantagem na recuperação da energia dos resíduos urbanos e das indústrias agrícolas e florestais, bem como na produção de combustível a partir de biomassa florestal cultivada para a produção de energia (Pollard, 1976; Boardman, 1978). A produção de metanol ou álcool metílico, combustível que oferece as vantagens da facilidade de transporte (como os produtos petrolíferos) e da «limpeza» (como o gás natural) (Hall, 1978) poderá constituir uma alternativa à pirólise a temperatura moderada, embora o seu custo seja mais elevado. Em contrapartida, o etanol poderá ter interesse no aproveitamento de melaços, de cereais impróprios para a alimentação e de culturas ricas em açúcar. Este combustível poderá ter interesse a curto prazo, uma vez que pode ser adicionado até 10 % à gasolina utilizada pelos motores convencionais sem qualquer problema (Klosterman *et al.*, 1977). Por exemplo, o Brasil projecta adicionar 10 % de etanol a toda a gasolina do país a partir de 1980 (Pollard, 1976; Hall, 1978). Finalmente, a produção de metano corresponde às melhores condições para a conversão dos resíduos agrícolas (vegetais e animais) com teor relativamente elevado em água, num combustível gasoso susceptível de ser usado por processos convencionais. Existem unidades para a produção de metano com dimensões que vão desde a exploração agrícola pequena e média até à pequena cidade (Meynell, 1976).

Um dos problemas cruciais na utilização da biomassa como combustível, poderá ser a reciclagem de elementos minerais essenciais

às plantas. Queimando a matéria orgânica, alguns dos minerais, particularmente o azoto e o enxofre, são emitidos para a atmosfera contribuindo para a poluição e entrando num ciclo biogeoquímico de difícil controlo. Isto poderá ser porém preferível à acumulação de lixo nas zonas urbanizadas uma vez que a distância dessas zonas aos locais onde os resíduos poderiam ser recebidos torna essa operação impraticável. A energia recuperada poderá cobrir consumos no fabrico de fertilizantes. A produção localizada de metano é, porém, bastante mais favorável pois permite a reciclagem dos minerais na agricultura, depois de retirado o gás (F. A. O., 1977).

A utilização da biomassa residual da produção primária dos ecossistemas actualmente explorados pelo Homem poderia cobrir, por exemplo, 10 a 15 % das necessidades energéticas da Austrália (Boardman, 1978) e cerca de 7 % das necessidades canadianas (Timbers & Downing, 1977). Um dos problemas principais desta utilização reside na dispersão, no caso dos resíduos das explorações agrícolas, e na necessidade de separação da biomassa dos outros componentes residuais, no caso das actividades urbano-industriais.

Dentre as culturas para a produção de combustíveis contam-se, entre outras, a mandioca e a cana de açúcar, para a produção de etanol, bem como as culturas florestais, por exemplo, os eucaliptos. Admitindo uma eficiência de conversão da energia solar em combustível da ordem dos 0,4 %, seriam necessários 10 % dos solos agrícolas do mundo para produzir a energia consumida em 1970 (Boardman, 1978). É evidente que hoje este número seria maior e correr-se-ia o risco de as áreas atribuídas à produção de energia serem altamente competitivas com as destinadas à produção de alimentos. Porém em certos países, como o Brasil e a Austrália, com baixa densidade populacional e elevadas potencialidades produtivas, a situação é diferente. No Brasil, menos de 2 % da área do país poderia produzir combustíveis suficientes para substituir todo o petróleo importado actualmente (Hall, 1978). Num futuro próximo, o Brasil poderá ser excedentário, mesmo contando com os gastos internos de carvão vegetal na siderurgia (Berutti, 1976). Quanto à Austrália, 3 milhões de ha de cana de açúcar poderiam fornecer todo o combustível necessário para as actividades de transporte (Boardman, 1978). No nosso país, porém, para compensar as importações de energia (1975) seria necessário perto de 1 milhão de hectares de eucaliptais com boa produtividade, admitindo uma eficiência de transformação por pirólise

da ordem dos 58 % (Boardman, 1978) e a utilização integral da árvore (ver Quadro III). Tal área, que é cerca de 5 vezes a área actual de eucaliptal do país, seria muito aumentada se se pretendesse a conversão em metanol (a 38 % de eficiência) ou a conversão directa em electricidade (a 27 % de eficiência) (Nautiyal, 1979). A utilização da biomassa florestal para a produção de energia numa tal escala, competiria não só com as necessidades actuais da produção de alimentos, mas também com as necessidades cada vez maiores em madeira. Mesmo em países de baixa densidade populacional, como o Canadá, o uso da biomassa florestal para a produção de energia é economicamente pouco vantajosa devido, entre outras coisas, aos custos de extracção e transporte. Presentemente o custo do KW.h de electricidade a partir da madeira é aproximadamente o dobro do custo a partir do carvão e do petróleo (Nautiyal, 1979). Claro que as condições variam de país para país, mas a biomassa florestal não é panaceia para a produção de energia, muito embora possa ser um complemento cuja importância aumentará à medida que os preços dos combustíveis fósseis aumentarem.

Outro problema que se põe à utilização das florestas como fonte de energia é a do aumento na exportação dos nutrientes minerais, e o consequente abaixamento do fundo de fertilidade dos solos, devido às tendências para a utilização integral da árvore e para a diminuição da idade de explorabilidade das mesmas com o objectivo de obter maiores produtividades em biomassa. Estas tendências podem fazer aumentar a exportação de N, P, K e Ca até 200 % ou mais, em relação à silvicultura tradicional voltada para a produção de madeira (Kimmins, 1977), uma vez que se acentua a utilização de materiais mais ricos em nutrientes do que a madeira (cascas, raízes, folhas), ao mesmo tempo que diminui a contribuição percentual da madeira para a biomassa total. É conhecido o facto de que o uso extensivo das matas mediterrâneas como fonte de energia, na idade clássica, contribuiu para a degradação dos solos da Grécia e Roma antigas (Pignatti, 1978).

A utilização dos desperdícios da floresta (ramos, bichadas, cascas, folhas) na produção de energia é um assunto controverso. Em muitos casos será preferível a sua melhor utilização na produção de pasta celulósica ou de aglomerados de partículas ou de fibras. Algum desse material é porém tradicionalmente queimado directamente ou usado para a produção artesanal de carvão. Estão neste caso as cerca

de 850 000 t anuais de resíduos de poda de sobreiros e azinheiras (Dias, 1975) e as folhas de eucalipto depois de extraídos os óleos essenciais. Seria de interesse investigar qual a via preferencial para a utilização deste tipo de materiais, em Portugal. De qualquer modo o seu emprego como fonte de energia só poderá ser encarado numa escala reduzida, dada a dispersão do material e a sua relativamente pequena biomassa.

Quanto à utilização dos resíduos das indústrias florestais põem-se problemas com alguma semelhança aos que se verificam quanto aos desperdícios florestais. A reciclagem do material fibroso ainda utilizável, parece uma opção de grande interesse económico, tanto mais que Portugal tem uma taxa de reciclagem destes produtos extremamente baixa (Pereira, 1977) e existe uma paradoxal preferência das indústrias de aglomerados de madeira pela rolaria, estimando-se a quantidade de desperdícios de serração utilizados nesta indústria em apenas 30 % do total de matéria prima consumida (Pedroso, 1977). Restam ainda desperdícios sem outra utilização imediata que não seja a produção de energia. É o que poderá acontecer com cerca de 150 000 t de serrim e 143 000 t de casca de pinho, ou seja, cerca de 43 % dos desperdícios de serração de madeira de pinho bravo, espécie que contribui com cerca de 93 % do material serrado em Portugal (Pedroso, 1977). Parece de interesse que uma racionalização deste sector incentive a utilização local deste material. Por outro lado a utilização de unidades móveis de pirólise poderia transformar os desperdícios não utilizados directamente, em combustíveis de maior concentração energética (Timbers & Downing, 1977).

Para além da utilização da biomassa como combustível, o balanço energético dos sectores agrícola e florestal poderá beneficiar de fontes de energia não convencionais, nomeadamente da utilização directa da energia solar. Muitas actividades agrícolas são compatíveis com o aproveitamento de fontes intermitentes de energia. Katzman & Matlin (1978) admitem que nos anos 80, a energia solar captada por células fotovoltaicas poderá tornar-se rendível nos E. U. A. para bombagem de água para rega, uma vez que, entre outras considerações de ordem económica, as maiores necessidades de bombagem de água coincidem com as mais elevadas densidades de fluxo da radiação solar. Outras formas de aproveitamento directo

da energia solar poderão ser úteis no aquecimento de estufas, instalações pecuárias, etc. Em muitos casos não será difícil reatar tradições de utilização da energia eólica e hidráulica.

CONCLUSÕES

Muito embora a tecnologia para o desenvolvimento agrícola esteja altamente dependente do investimento em factores de produção com um elevado coeficiente energético, é possível e desejável aumentar a eficiência de utilização desses factores. Nos países com agriculturas atrasadas este aspecto reveste grande importância. Por exemplo, a mecanização, embora capaz de aumentar a produtividade do trabalho rural, não deverá ser promovida desregradamente, sem que se garanta o pleno emprego da mão de obra e procure aumentar a produtividade da terra e dos outros factores de produção. Erros no modo de aplicação dos subsídios energéticos pagam-se caros, dado o elevado peso que os consumos de energia comercial passarão a ter na formação dos preços agrícolas.

Parece hoje claro que a baixa eficiência fotossintética de muitas culturas não resulta duma baixa capacidade intrínseca da fotossíntese. Técnicas culturais e variedades de plantas que permitam uma ocupação efectiva do terreno (IAF elevado) desde as primeiras idades da cultura, bem como a acumulação de uma larga proporção dos produtos da fotossíntese no produto económico, podem melhorar a eficiência de utilização dos subsídios energéticos, especialmente se houver elevada eficiência de uso da água e boa resistência a pragas e doenças. Dum modo geral pode dizer-se que a aplicação de técnicas correctas de acordo com os conhecimentos científicos disponíveis actualmente (por exemplo, o uso de variedades localmente adaptadas e sementeiras a tempo), poderá ter impacte muito significativo na melhoria da eficiência dos subsídios de energia.

A escassez potencial e o constante aumento de preço da energia comercial parecem justificar a substituição parcial da energia cultural em adubações azotadas (geralmente uma fracção muito elevada da energia cultural total) pela reciclagem dos resíduos orgânicos e pela fixação biológica do azoto. Na maioria dos países de agricultura atrasada, não se trata de diminuir as fertilizações azotadas, as quais têm estado na base do arranque de produtividades

elevadas (F. A. O., 1977). Interessa sim, por um lado, aumentar a eficiência destas adubações (mediante práticas agrícolas correctas) e, por outro, aumentar a quantidade de azoto, fixado por vias pouco dispendiosas em combustíveis fósseis. Ópticas semelhantes deverão ser aplicadas para os outros factores de produção, procurando melhorar as produções mantendo uma eficiência energética razoável.

É possível melhorar o balanço energético do sector primário da economia não só pelo aproveitamento das culturas agrícolas e florestais e dos resíduos orgânicos como fontes de energia, mas também incrementando a utilização da energia solar e da energia eólica (para elevação de água, por exemplo) bem como da energia de posição da água. Como as barragens para rega representam quase sempre investimentos elevados haverá que delas tirar o maior partido, quer pela conjugação da aquicultura e da agricultura, quer pela produção de energia eléctrica mesmo à escala local. Quanto à utilização dos resíduos orgânicos, especialmente ao nível da exploração agrícola, a fermentação anaeróbia para a produção de metano oferece as melhores condições, uma vez que a matéria orgânica não perde as suas propriedades fertilizantes, mesmo depois da fermentação. Haverá porém que cuidar dos aspectos de segurança das instalações.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSSON, F. 1971 — Methods and preliminary results of estimation of biomass and primary production in a south Swedish mixed deciduous woodland. In P. Duvigneaud (ed) *Productivity of Forest Ecosystems*. Proc. Brussels Symp. UNESCO, Paris. pp. 281-288.
- ARNOLD, G. W. & K. A. GALBRAITH, 1978 — The efficiency of energy utilization in the production of lamb and mutton from intensive and extensive systems. In *III Congreso Mundial de Alimentación Animal*. Madrid. pp. 113-122.
- BAES, C. F., H. E. GOELLER, J. S. OLSON, & R. M. ROTT, 1977 — Carbon dioxide and climate: the uncontrolled experiment. *Am. Sci.* 65: 310-320.
- BARRETO, L. S. 1977 — A Produtividade Primária da Terra. A energia que nos sustenta. Sec. Estado do Ambiente, Lisboa.
- BASKIN, J. M. & C. C. BASKIN, 1978 — A discussion of the growth and competitive ability of C3 and C4 plants. *Castanea* 43: 71-76.

- BERRY, J. A. 1975 — Adaptation of photosynthetic processes to stress. *Science* 188: 644-650.
- BERUTTI, P. A. 1976 — Contribuição energética das florestas brasileiras. *Ciência e Cultura* 29: 274-283.
- BLAXTER, K. L. 1978 — Energy flow in agriculture. In D. O. Hall, J. Coombs, T. W. Goodwin (eds.) *Proc. 4th International Congress on Photosynthesis*. The Biochemical Society, London. pp. 685-694.
- BOARDMAN, N. K. 1978 — Solar energy conversion in photosynthesis and its potential contribution to world demand for liquid and gaseous fuels. In D. O. Hall, J. Coombs & T. W. Goodwin (eds.) *Proc. 4th International Congress on Photosynthesis*. The Biochemical Society, London. pp. 635-644.
- CALDWELL, M. M., R. S. WHITE, R. T. MOORE, & L. B. CAMP. 1977 — Carbon balance, productivity, and water use of cold-Winter desert communities dominated by C3 and C4 species. *Oecologia (Berl.)* 29: 275-300.
- CHENOST, J. 1978 — Les points essentiels de la F. A. O. dans le domaine de l'alimentation animale. In III Congresso Mundial de Alimentação Animal. Madrid. pp. 649-652.
- CHILDE, G. 1947 — O Homem Faz-se a Si Próprio. Cosmos, Lisboa.
- COOPER, J. P. 1975 — Control of photosynthetic production in terrestrial systems. In J. P. Cooper (ed.) *Photosynthesis and Productivity in Different Environments*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. pp. 593-621.
- CORNFORTH, L. W. 1975 — Energy out of agriculture. Plants as a source of fuel and power. *Span*, 18: 10-11.
- CROW, T. R. 1978 — Biomass and production in three contiguous forests in northern Wisconsin. *Ecology* 59: 265-273.
- DIAS, J. S. 1975 — Estudo da possibilidade de utilização dos desperdícios da poda do sobreiro e da azinheira no fabrico de aglomerados de partículas. *Bol. I. P. F. (Madeira e Derivados)*, 2 (6): 5-20.
- DUNCAN, W. G. 1975 — Maize. In L. T. Evans (ed.) *Crop Physiology. Some Case Histories*. Cambridge Univ. Press, Cambridge (U. K.). pp. 23-50.
- DUVIGNEAU, P. & S. DENAEYER-DE SMET. 1970 — Biological cycling of minerals in temperate deciduous forests. In D. E. Reichle (ed.) *Analysis of Temperate Forest Ecosystems*. Springer-Verlag, New York. pp. 199-225.

- EHRLERINGER, J. R. 1978 — Implications of quantum yield differences on the distribution of C3 and C4 grasses. *Oecologia* 31: 255-267.
- EVANS, L. T. 1976 — Physiological adaptation to performance as crop plants. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 275: 71-83.
- F. A. O. 1977 — La Situation Mondiale de l'Alimentation et de l'Agriculture, 1976. F. A. O. Col. Agriculture N.º 4.
- FLORET, C. & M. S. HADJEJ, 1977 — An attempt to combat desertification in Tunisia. *Ambio* 6: 366-368.
- FLUCK, R. C. 1979 — Energy productivity: a measure of energy utilisation in agricultural systems. *Agric. Systems* 4: 29-37.
- FRISSEL, M. J. (ed.) 1978 — Cycling of Mineral Nutrients in Agricultural Ecosystems. Elsevier Sci. Pub. Amsterdam.
- GALOUX, A. 1971 — Flux et transferts d'énergie au niveau des écosystèmes forestiers. In P. DuVigneaud (ed.) *Productivity of Forest Ecosystems*. Proc. Brussels Symp. UNESCO, Paris. pp. 21-40.
- GENTILI, J. (ed.) 1970 — Climates of Australia and New Zealand. In J. Landsberg (ed. in chief) *World Survey of Climatology*. Elsevier, Amsterdam. Vol. 13.
- GLANTZ, M. H. 1977 — Water and inappropriate technology: Deep wells in the Sahel. In V. P. Nanda (ed.) *Water Needs for the Future*. Westview Press, Boulder, Colorado (USA). pp. 305-318.
- GOMES, A. M. A. & A. A. M. ALVES. 1968 — Desramações e Desbastes. Dir. Geral Serv. Flor., Lisboa.
- HALL, D. O. 1978 — Solar energy conversion through biology — Could it be a practical energy source? *Fuel* 57: 322-333.
- HARDY, R. W. F., U. D. HAVELKA & B. QUEBEDEAUX. 1978 — Increasing crop productivity: the problem, strategies, approach, and selected rate-limitations related to photosynthesis. In D. O. Hall, J. Combs & T. W. Goodwin (eds.) *Proc. 4th International Congress on Photosynthesis*. The Biochemical Society, London. pp. 695-719.
- HAWTHORN, J. 1975 — Energy usage in food processing and distribution. *Span*, 18: 15-16.
- HEICHEL, G. H. 1976 — Agricultural production and energy resources. *Amer. Sci.* 64: 64-72.

- HEICHEL, G. H. & C. R. FRINK. 1975 — Anticipating the energy needs of American agriculture. *Soil and Water Conserv.* 30: 48-53.
- HILLMAN, W. S. & D. D. CULLEY, JR. 1978 — The uses of duckweed. *Amer. Sci.* 66: 442-451.
- HUDSON, J. C. 1975 — Sugarcane: its energy relationships with fossil fuel. *Span.* 18: 12-14.
- HUET, M. 1978 — *Tratado de Piscicultura* (2.^a edición). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- JORDAN, C. F. & P. G. MURPHY. 1978 — A latitudinal gradient of wood and litter production, and its implication regarding competition and species diversity in trees. *Amer. Midl. Nat.* 92: 415-434.
- KATZMAN, M. T. & R. W. MATLIN. 1978 — The economics of adopting solar energy systems for crop irrigation. *Amer. J. Agr. Econ.* 60: 648-654.
- KIMMINS, J. P. 1977. — Evaluation of the consequences for future tree productivity of the loss of nutrients in whole-tree harvesting. *For. Ecol. Manag.* 1: 169-183.
- KLOSTERMAN, H. J., O. J. BANASIK, M. L. BUCHANAN, F. R. TAYLOR & R. L. HARROLD. 1977 — Production and use of grain alcohol as a motor fuel — an evaluation. *Farm Research*, 35 (2), 3-8.
- KOVALEVSKI, V. P. & V. A. PULIARKIN. 1976 — El crecimiento de la población, el aumento de las necesidades alimenticias, y el medio natural. In I. Guerásimov (ed.) *El Hombre, la Sociedad y el Medio Ambiente*. Progreso, Moscovo. pp. 326-353.
- KOZLOWSKI, T. T. 1976 — Water relations and tree improvement. In M. G. R. Cannel & F. T. Last (eds.) *Tree Physiology and Yield Improvement*. Academic Press, London pp. 308-327.
- KRUMMEL, J. & W. DRITSCHLO. 1977 — Coûts en ressources de la production de protéines animales. *Rev. Mondiale de Zootechnie (FAO)*, 21: 6-10.
- LARCHER, W. 1977. — *Ecofisiologia vegetal*. Ediciones Omega, Barcelona.
- LIETH, H. 1975. — Modeling the primary productivity of the World. In H. Lieth & R. H. Whittaker (eds.) *Primary Productivity of the Biosphere*. Springer-Verlag, New York. pp. 238-263.
- LIPTON, M. 1975. — Energy and Agriculture in poor countries. *Span.* 18: 17-18.

- LOOMIS, R. S. & P. A. GERAKIS. 1975. — Productivity of agricultural ecosystems. *In* J. P. Cooper (ed.) *Photosynthesis and Productivity in Different Environments*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. pp. 145-172.
- MCEVEDY, C. 1973 — *Atlas da História Antiga*. Editora Ulisseia, Lisboa.
- MEYNELL, P. J. 1976 — *Methane: Planning a Digester*. Prism Press, Dorchester (U K.).
- MONTEITH, J. L. 1978 — Reassessment of maximum growth rates for C3 and C4 crops. *Exptl. Agric.* 14: 1-5.
- MOONEY, H. A. (ed.) 1977 — *Convergent Evolution in Chile and California Mediterranean Climate Ecosystems*. Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, Penn. (U. S. A.).
- NAKAMURA, R. 1978. — Aquaculture: Innovative science and technology in poor societies. *In* M. H. Glantz, H. van Loon & E. Armstrong (eds.) *Multi-disciplinary Research Related to the Atmospheric Sciences*. Natl. Center for Atmospheric Research. Boulder, Colorado (USA), pp. 24-41.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (U. S. A.). 1976 — Making aquatic weeds useful: some perspectives for developing countries. National Academy of Sciences. Washington D. C.
- NAUTIYAL, J. C. 1979 — The place of forestry in the energy question. *Can. J. For. Res.* 9: 68-75.
- NEMETH, J. C. 1973 — Forest biomass estimation: permanent plots and regression techniques. *In* H. E. Young (ed.) *IUFRO Biomass Studies*. College of Life Sciences and Agric., Univ. Maine-Orono. pp. 79-88.
- NILSSON, P. O. 1976 — The energy balance in Swedish forestry. *In* C. O. Tamm, (ed.) *Man and the Boreal Forest*. *Ecol. Bull* (Stockholm) 21: 95-101.
- NOBEL, P. S. 1974 — *Introduction to Biophysical Plant Physiology*. W. H. Freeman & Co., San Francisco.
- ODUM, E. P. 1971 — *Fundamentals of Ecology* (Third edition). W. B. Saunders. Philadelphia.
- ODUM, H. T. & E. C. ODUM. 1976 — *Energy Basis for Man and Nature*. McGraw-Hill, New York.
- OLSON, R. A. 1977 — Fertilizers for food production vs. energy needs and environmental quality. *Ecotoxic. and Environm. Safety* 1: 311-326.

- ORIAN, G. H. & O. T. SOLBRIG. 1977 — A cost-income model of leaves and roots with special reference to arid and semiarid areas. *Amer. Nat.* 111: 677-690.
- PALLAS JR., J. E. & J. R. STANSELL. 1978 — Solar energy utilization of peanut under several soil-water regimes in Georgia. *Oléagineux* 33: 235-238.
- PAYNE, J. 1976 — Energy recovery from refuse. State-of-the-art. *Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE*, 102 (EE2): 281-300.
- PEDROSO, M. M. A. 1977 — A valorização dos desperdícios de pinheiro bravo nas indústrias de serração em Portugal. *Bol. I. P. F. (Madeira e Derivados)* 3 (13): 24-26.
- PEREIRA, H. 1977 — Papéis velhos: uma matéria-prima para a indústria do papel. *Bol. I. P. F. (Madeira e Derivados)* 3 (13): 3-9.
- PEREIRA, J. S. 1978 — O papel da água na produção florestal. *I. P. V. R., Vila Real (ciclost.)*.
- PEREIRA, J. S. & A. M. FABIÃO. 1978 — Energia nos sistemas agrícolas e florestais. *Congresso da Ordem dos Engenheiros*, 22-29 Novembro, 1978.
- PIGNATTI, S. 1978 — Evolutionary trends in Mediterranean Flora and Vegetation. *Vegetatio* 37: 175-185.
- PIMENTEL, D., L. E. HURD, A. C. BELLOTI, M. J. FORSTER, I. N. OKA, O. D. SCHOLES & R. J. WHITMAN. 1973 — Food production and the energy crisis. *Science* 182: 443-449.
- POLLARD, W. A. 1976 — The long-range prospects for solar derived fuels. *Am. Sci.* 64: 509-513.
- RAMADE, F. 1974 — *Eléments d'Écologie Appliquée*. Ediscience, Paris.
- ROSENDAL, H. & C. B. TANNER. 1970 — Integrating pyranometer for climatological observer stations and mesoscale networks. Report to N. O. A. A., Environmental Data Service. USA.
- SANTATONIO, D., R. K. HERMANN & N. S. OVERTON. 1977 — Root biomass studies in forest ecosystems. *Pedobiol.* 17: 1-31.
- SAVORY, H. N. 1974 — Espanha e Portugal. Verbo (*Col. Historia Mundi*), Lisboa.
- SLESSER, M. 1975 — Energy requirements of agriculture. In J. Lenihan & W. W. Fletcher (eds.) *Food Agriculture and the Environment*. Blackie, Glasgow. pp. 1-20.

- SMITH, H. 1978 — Recognition and defense in plants. *Nature* 273: 266-268.
- SMITH, N. E. 1978 — The efficiency of energy utilization for milk production from intensive and extensive systems. In III Congreso Mundial de Alimentation Animal. Madrid. pp. 123-129.
- SOLLINS, P., D. E. REICHLE & J. S. OLSON. 1973 — Organic matter budget and model for a southern Appalachian *Liriodendron* forest. Oak Ridge National Lab., Oak Ridge, Ten. (USA).
- TIMBERS, G. E. & C. G. E. DOWNING. 1977 — Agricultural biomass wastes: utilization routes. *Canadian Agricultural Engineering*, 19 (2), 84-87.
- WALSINGHAM, J. M. 1977 — Dependence of food supply on non-solar energy. *Nutrition* 29: 337-346.
- WASSINK, E. C. 1975 — Photosynthesis and productivity in different environments. Conclusions. In J. P. Cooper (ed.) *Photosynthesis and Productivity in Different Environments*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. pp. 675-687.
- WHITTAKER, R. H. & G. E. LIKENS. 1975 — The biosphere and man. In H. Lieth & R. H. Whittaker (eds.) *Primary Productivity of the Biosphere*. Springer-Verlag, New York. pp. 305-328.
- WILL, G. M. 1964 — Dry matter production and nutrient uptake by *Pinus radiata* in New Zealand. *Com. For. Rev.* 40: 57-70.
- WINKLE, T. L. van, J. EDELEANU, E. A. PROSSER & C. A. WALKER. 1978 — Cotton versus polyester. *Am. Sci.* 66: 280-290.